# WELTORGANISATION FUR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Bûro
Internationales Bûro
Internationales Anmeldung veröffentlicht nach dem vertrag über die INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7:

H01H 1/00, 1/04

A1

- WO 00/44012 (11) Internationale Veröffentlichungsnummer:
- (43) Internationales Veröffentlichungsdatum:

27. Juli 2000 (27.07.00)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP00/00552

- (22) Internationales Anmeldedatum: 25. Januar 2000 (25.01.00)
- (30) Prioritätsdaten:

199 02 868.0

25. Januar 1999 (25.01.99)

DE

- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): GFD-GESELLSCHAFT FÜR DIAMANTPRODUKTE MBH [DE/DE]; Wilhelm Runge-Str. 11, D-89081 Ulm (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ADAMSCHIK, Mario [DE/DE]; Hermann-Hesse-Weg 18, D-89081 Ulm (DE). KOHN, Erhard [DE/DE]; Ratgebweg 21, D-89081 Ulm-Lehr (DE). ERTL, Stefan [DE/DE]; Herzog-Georg-Str. 39, D-89415 Lauingen (DE). Stefan [DE/DE]; Herzog-Georg-Str. 1, D-89231 SCHMID, Philipp [DE/DE]; Marienstr. Neu-Ulm (DE).
- (74) Anwalt: PFENNING MEINIG & PARTNER GBR; Mozartstr. 17, D-80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches

Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR,

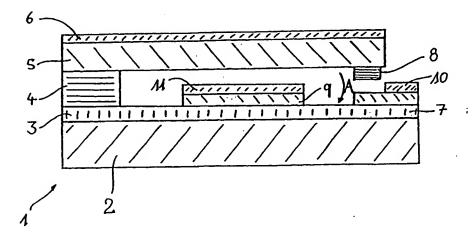
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF,

CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

#### Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

- (54) Title: MICROSWITCHING CONTACT
- (54) Bezeichnung: MIKROSCHALTKONTAKT



### (57) Abstract

The invention relates to a mechanically closing, electric microswitching contact (1) comprising two electrically conductive contact elements (7, 8) whose respective contact surfaces come into contact with one another. According to the invention, at least one of the contact surfaces is at least partially comprised of highly-doped conductive diamond, silicon carbide, gallium nitride, boron nitride, aluminum gallium nitride, and/or aluminum nitride.

## (57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen mechanisch schließenden elektrischen Mikroschalterkontakt (1) mit zwei elektrisch leitenden Kontaktelementen (7, 8), die zur Kontaktierung mit jeweilingen Kontaktflächen miteinander in Berührung treten. Erfindungsgemäß besteht nun mindestens eine der Kontaktstächen zumindest teilweise aus hochdotiertem leitfähigem Diamant, Siliziumcarbid, Galiumnitrid, Bornitrid, Aluminium-Galiumnitrid und/oder Aluminiumnitrid.

## Mikroschaltkontakt

5

10

. 15

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen mechanisch schließenden elektrischen Mikroschaltkontakt. Derartige Schaltkontakte werden überall dort benötigt, wo große elektrische Ströme auf engstem Raum geschaltet werden sollen, so beispielsweise in Sensoren, Aktoren und Hochleistungs-/Hochtemperaturapplikationen, wie beispielsweise in der Leistungselektronik, Kfz-Elektronik oder in chemisch aggressiven Umgebungen.

Mikromechanische Schalter sind im Vergleich zu konventionellen Relais schnell, schockresistent und benötigen sehr wenig Steuerleistung bei elektrostatischem Antrieb und besitzen obendrein gewöhnlich vernachlässigbare Steuerleckströme. Die Miniaturisierung erlaubt ferner die Implementierung in Mikrowellen-

WO 00/44012 2 PCT/EP00/00552

schaltungen, wo Pulsbetrieb hoher Leistung erforderlich ist. Mikroschalter und Mikrorelais können dabei
auf dem elektrostatischen (kapazitiven), magnetischen
oder induktiven Prinzip beruhen oder auch über Temperaturänderung schaltbar sein. Die Strukturen derartiger Mikroschalter basieren im allgemeinen auf Silizium- oder Metall- oder Keramik-Mikromechanikkonzepten.
Hierbei dient üblicherweise mit Siliziumdioxid beschichtetes Silizium als elektrisch isolierendes Substrat, während die Kontakte aus unterschiedlichen
Mehrschichtmaterialsystemen bestehen. Für die Herstellung ist daher ein komplexes Materialsystem und
eine entsprechend komplexe Vorgehensweise erforderlich.

15

20

10

5

Die zu schaltenden Ströme sind dabei jedoch bei metallischen oder siliziumbasierten Mikroschaltern beschränkt, da bei hohen Stromdichten durch die Verlustwärme des Schalters oft sehr hohe Temperaturen entstehen, die mit diesen Materialien nicht mehr handhabbar sind. Alternativ existieren Hybridaufbauten oder Schalter aus Keramik. Bei diesen ist jedoch die jeweilige Materialdicke, beispielsweise eines Biegebalkens, nach unten beschränkt.

25

30

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen mechanisch schließenden, elektrischen Mikroschaltkontakt zur Verfügung zu stellen, der chemisch inert ist, eine hohe Lebensdauer, hohe Schlagfestigkeit, hohe Schaltdynamik, minimale Materialkomplexität aufweist, der mikrowellentauglich ist, bei sehr hohen Temperaturen eingesetzt werden und eine

hohe Stromdichte schalten kann.

5

10

15

20

25

30

Diese Aufgabe wird durch den Mikroschaltkontakt nach Anspruch 1 sowie durch das Herstellungsverfahren für einen derartigen Mikroschaltkontakt gemäß Anspruch 28 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen werden in den abhängigen Ansprüchen gegeben.

Der erfindungsgemäße Mikroschaltkontakt besitzt zwei elektrisch leitende Kontaktelemente, die im geschlossenen Zustand sich im Bereich zweier elektrisch leitender Kontaktflächen berühren. Dabei besteht mindestens eine der beiden Kontaktflächen aus hochdotiertem, leitfähigem und mithin guasi metallischem Diamant, Siliziumcarbid (SiC), Galiumnitrid (GaN), Bornitrid (BN), Aluminiumnitrid (AlN) und/oder Aluminiumgaliumnitrid (AlGaN). Besonders Diamant zeichnet sich durch eine hohe Debyetemperatur aus und ist daher bis zu hohen Temperaturen elastisch und hat eine hohe Temperaturleitfähigkeit. Weiterhin besitzen diese Materialien die Eigenschaft, daß ihre elektrischen Eigenschaften durch Dotierung zwischen isolierend, halbleitend und quasi-metallisch geändert werden können. Weiterhin besitzt Diamant eine hohe Verschleißfestigkeit und mechanische Stabilität, was zu einer hohen Lebensdauer des Schaltkontaktes führt. Darüber hinaus kann der erfindungsgemäße Mikroschalter bei sehr hohen Temperaturen, beispielsweise bis 800 °C, eingesetzt werden und eine hohe Stromdichte (mit hoher Verlustleistung) beispielsweise von 1 x 10<sup>6</sup> A/cm<sup>2</sup> bei < 600 °C Betriebstemperatur, schalten. Diese Eigenschaften werden durch ein einziges Grundmaterial

ermöglicht. Dadurch, daß keine plastische Verformung, selbst bei hohen Temperaturen in Diamant auftritt, ist auch keine Veränderung der Schwellspannung bei Temperaturen selbst über

5 T > 600 °C zu erwarten.

Unter Schwellspannung wird die minimale erforderliche Schaltspannung und unter Schaltgrenzfrequenz die maximale, stabil erzeugbare Schaltfrequenz verstanden.

10

Eine derart hohe Temperatur-Stabilität ist mit metallischen oder siliziumbasierten Mikroschaltern nicht realisierbar.

Weiterhin ist es mit dem erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt möglich, sehr kleine freistehende Schichtstrukturen herzustellen, beispielsweise Biegebalken mit einer Dicke zwischen üblicherweise 0,5 bis 10 µm. Dies reduziert die Trägheit der bewegten Elemente und erhöht damit die Schaltdynamik. Derartig kleine Schichtdicken mit hoher Biegesteifigkeit und Bruchfestigkeit sind mit Keramik- und Hybridaufbau derzeit nicht realisierbar.

Erfindungsgemäß können eine oder vorzugsweise beide Kontaktflächen der Kontaktelemente aus Diamant, SiC, AlN, BN, GaN und/oder AlGaN bestehen. Alternativ kann jedoch auch eine der beiden Kontaktflächen zumindest teilweise aus Metall (Al, Au, Cu, Ni), einem carbidbildenden Metall und/oder einer hochtemperaturstabilen Metallisierung bestehen. Die hochtemperaturstabile Metallisierung kann dabei W:Si und/oder Ta:Si ent-

halten.

Vorteilhafterweise ist je eine der beiden Kontaktflächen auf einer Bodenplatte und/oder einem Biegebalken angeordnet. Dabei ist der Biegebalken vorzugsweise freitragend über einen an einem seiner Enden angeordneten Anker oder einer anderen mechanischen Verbindung fixiert. Sowohl die Bodenplatte als auch der Anker oder der Biegebalken können aus einem der oben genannten Materialien Diamant, SiC, GaN, AlN, BN und/oder AlGaN bestehen. Vorteilhafterweise wird als BN für sämtliche Schichten und Elemente des erfindungsgemäßen Mikroschaltkontaktes kubisches Bornitrid verwendet.

15

20

25

10

5

Bei Verwendung von Diamant ergibt sich ein hervorragendes mechanisches Federungsverhalten und damit eine hohe Schaltgrenzfrequenz des Biegebalkens, da Diamant ein sehr hohes Elastizitätsmodul aufweist. Der Biegebalken kann nunmehr aufgrund des elektrostatischen, induktiven, hydraulischen, pneumatischen, mechanischen und/oder thermomechanischen Prinzips in Richtung der Bodenplatte bewegt werden, so daß sich die einander gegenüber angeordneten Kontaktelemente berühren und einen elektrischen Kontakt erzeugen. Die Ströme zu den beiden Kontaktelementen können über jeweilige Außenkontakte, die beispielsweise auf dem ersten Kontaktelement bzw. auf dem Biegebalken als Metallisierung aufgebracht sind, zugeführt werden.

30

Weiterhin kann auf der Bodenplatte unterhalb des Biegebalkens eine Steuerelektrode angebracht sein, über WO 00/44012 PCT/EP00/00552

6

die mittels des elektrostatischen Prinzips der Biegebalken in Richtung der Bodenplatte bewegt werden kann. Auch an dieser Steuerelektrode sind seitlich außerhalb des von dem Biegebalken überdeckten Bereiches Metallisierungen als Außenkontakte zum Anlegen der Steuerspannung angeordnet.

Die Kontaktierung der Kontaktelemente und der Steuerelektrode kann auch über die sogenannte via-holeTechnik erfolgen, bei der entsprechende Löcher in die
Bodenplatte rückseitig eingeätzt sind, so daß rückseitig die entsprechenden zu kontaktierenden Bestandteile freiliegen und mit einer Metallisierung als Außenkontakt überzogen werden können.

15

20

10

5

Erfindungsgemäß kann nun das gesamte Bauelement (Mikroschaltkontakt) aus einem einzigen Material aufgebaut werden, beispielsweise Diamant. Dabei wird mittels geeigneter Dotierung erreicht, daß beispielsweise die Kontaktelemente, die Steuerelektrode und der
Biegebalken elektrisch leitend sind, beispielsweise
durch starke Dotierung beispielsweise mit Bor, Stickstoff, Schwefel oder Phosphor. Andererseits kann die
Bodenplatte aus isolierendem, über ein CVD-Verfahren
abgeschiedenem Diamant bestehen, ebenso der Anker.

30

25

Das gesamte Bauelement kann auf einer Trägerschicht, beispielsweise aus Silizium, angeordnet sein. Diese kann auch noch während der Fertigung des Bauelements vorhanden und nachträglich wieder entfernt werden. Zwischen der Bodenplatte und der Trägerschicht kann dabei eine weitere isolierende Schicht, beispielswei-

se aus  $SiO_x$  angeordnet werden, um jegliche Leckströme durch das Trägermaterial zu unterbinden.

Erfindungsgemäß kann die Herstellung eines verankerten Schaltkontaktes erfolgen ,indem zuerst die Bodenplatte, der Anker und das erste Kontaktelement sowie gegebenenfalls die Steuerelektrode auf einen Siliziumträger, beispielsweise über CVD-Verfahren, vorzugsweise Plasma-CVD aber auch über Arc-Jet-CVD oder Hot-Filament-CVD abgeschieden werden. Daraufhin wird eine Opfer-Schicht aufgebracht, auf die anschließend der Biegebalken abgeschieden wird. Der Biegebalken wird dabei mit dem Anker und damit der Bodenplatte verbunden, so daß anschließend die Opfer-Schicht entfernt werden kann und der Biegebalken als freitragendes mechanisches Bauelement verbleibt.

Im folgenden wird ein Beispiel eines erfindungsgemä-Ben Mikroschaltkontaktes gegeben. Es zeigen

20

5

10

15

- Figur 1 einen erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt;
- Figur 2 die Temperaturabhängigkeit der Schwellspannung des Schaltkontaktes aus Figur 1;

- Figur 3 die Simulation der Temperaturverteilung im Vakuum des Mikroschaltkontaktes aus Figur 1;
- 30 Figur 4 einen Schaltkontakt mit einem geschalteten Schaltkontakt und zwei Abschirmungen sowie

WO 00/44012 PCT/EP00/00552

8

Figur 5 einen Schaltkontakt mit geschaltetem Signalkontakt und zwei geschalteten Abschirmungen.

Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt 1. Bei dem Mikroschaltkontakt 1 befindet sich auf einer Trägerschicht 2 aus Silizium eine Bodenplatte 3 aus nichtdotiertem und damit nichtleitendem, über ein CVD-Verfahren abgeschiedenen Diamant. An einem Ende der Bodenplatte ist eine weitere nichtleitende Diamantschicht als Anker 4 aufgebracht. Am anderen Ende der Bodenplatte 3 ist ein Kontaktelement 7 aus stark mit Bor dotiertem und mithin quasi-metallisch leitendem Diamant angeordnet.

15.

20

Oberhalb des Ankers 4 und mit diesem verbunden, jedoch in Richtung der Bodenplatte 3 diesen überragend, befindet sich ein Biegebalken 5 aus ebenfalls über eine starke Bor-Dotierung quasi-metallisch leitendem Diamant. Die Höhe des Ankers 4 bestimmt dabei den Abstand des Biegebalkens 5 von der Bodenplatte 3. Dieser Biegebalken 5 erstreckt sich freitragend bis über das erste Kontaktelement 7, wo an seiner Unterseite ein zweites Kontaktelement 8 aus elektrisch leitendem Diamant angeordnet ist. Die beiden Kontaktelemente 7 und 8 weisen im nichtgeschalteten Zustand einen vorbestimmten Abstand voneinander auf.

30

25

Unterhalb des Biegebalkens im Zwischenraum zwischen dem Biegebalken 5 und der Bodenplatte 3 befindet sich eine Steuerelektrode 9 aus elektrisch leitendem Diamant. Sowohl die Steuerelektrode 9 als auch das erste

10

15

20

25

30

Kontaktelement 7 weisen Metallisierungen aus W:Si oder Au 11 bzw. 10 auf, die als Außenkontakte zum Anlegen von Spannungen und Strömen an die Steuerelektrode 9 bzw. das erste Kontaktelement 7 dienen. Diese Metallisierungen 11 und 10 sind außerhalb des Bereiches angebracht, der von dem Biegebalken 5 überdeckt wird. Dadurch wird eine Kontaktierung zwischen dem Biegebalken 5 und den Metallisierungen 11 und 10 vermieden, wenn sich der Biegebalken in Richtung des Pfeiles A durchbiegt.

Das zweite Kontaktelement 8 ist über den Biegebalken 5 mit einer auf diesem Biegebalken angebrachten, als Außenkontakt dienenden Metallisierung 6 elektrisch verbunden. An diese Metallisierung 6 kann Spannung an das zweite Kontaktelement 8 angelegt werden.

Über die Dicke und die Dimensionierung des Biegebalkens 5 können dessen elastische Eigenschaften verändert werden, so daß beispielsweise die Schwellspannung oder auch die Schaltgrenzfrequenz individuell eingestellt werden können.

In alternativen Ausführungen kann die Bodenplatte 3 des Mikroschaltkontaktes statt aus Diamant auch aus SiC, GaN, AlN, AlGaN oder BN bestehen. Der Träger 2 besteht vorteilhafterweise aus (100)-orientiertem Silizium. In diesem Falle kann die Bodenplatte 3 hoch orientiert sein und eine hohe Oberflächenplanarität besitzen. Der zweite Kontakt 8 kann alternativ auch aus einer hochtemperaturstabilen Metallisierung wie W:Si oder Ta:Si bestehen. Alternativ kann jedoch auch

das zweite Kontaktelement 8 aus Diamant und das erste Kontaktelement 7 aus einer derartigen hochtemperaturstabilen Metallisierung bestehen. Die Metallisierung kann selbst auf einem Diamantsubstrat erfolgen ("metallüberzogener Diamant"), wobei die guten meachnischen Eigenschaften des Diamants genutzt werden. Derartige hochtemperaturstabile Metallisierungen sind beispielsweise von hochtemperaturstabilen Schottky-Diodenmaterialien her bekannt.

10

15

20

5

Der in Figur 1 gezeigte Schaltkontakt 1 wird hier kapazitiv (elektrostatisch) geschaltet. Als obere Kondensatorplatte dient dabei der Biegebalken 5 und als untere Elektrode die Steuerelektrode 9. Abhängig von der geometrischen Dimensionierung des Biegebalkens 5 und der Steuerelektrode 9 kann dabei die Schaltspannung zwischen einigen Volt und einigen 10 Volt eingestellt werden. Im vorhergehenden Beispiel besitzt der Biegebalken 5 eine Dicke zwischen 0,5 und 10 µm. Diese geringen Schichtdicken führen ebenso wie das hohe Elastizitätsmodul von Diamant zu einer geringen Trägheit und damit hohen Schaltgrenzfrequenz. Derartig kleine Schichtdicken für Biegebalken sind mit einem Keramik- oder Hybridaufbau nicht realisierbar.

25

30

Figur 2 zeigt die gemessene Temperaturabhängigkeit der Schwellspannung des in Figur 1 dargestellten Mi-kroschaltkontaktes 1. Es ist unschwer zu erkennen, daß bis zu Temperaturen weit über 600 °C ein Schalten ohne eine Veränderung der Schwellspannung möglich ist.

WO 00/44012 PCT/EP00/00552

Figur 3 zeigt die simulierte Temperaturverteilung'im Vakuum des in Figur 1 dargestellten Mikroschaltkontaktes 1 bei einer Stromdichte von 1 x  $10^6$  A/cm<sup>2</sup>.

Durch die hohe Wärmeleitfähigkeit von Diamant lassen sich hohe Verlustleistungen abführen.

Durch die hohe Temperaturstabilität des Materials toleriert der Schaltkontakt hohe Temperaturen.

10

15

30

Figur 4 zeigt ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen Mikroschaltkontaktes, bei dem Abschirmungen
für HF-Frequenzen vorgesehen sind. Bei dieser Figur
sind entsprechende Elemente mit entsprechenden Bezugszeichen wie in Figur 1 versehen und werden daher
nicht weiter erläutert.

ei 20 vo 6b el si 8b 25 ste der

Im Unterschied zu Figur 1 ist nunmehr an dem Anker 4 ein Biegebalken 5 befestigt, der drei verschiedene, voneinander elektrisch getrennte Metallisierungen 6a, 6b und 6c aufweist. Der Biegebalken selbst ist aus elektrisch isolierendem Diamant, während die Metallisierung 6a, 6b, 6c jeweils mit Kontaktelementen 8a, 8b und 8c verbunden sind. Dies ist in Figur 4A dargestellt. Die Metallisierungen 6a, 6b und 6c sind auf der Seite des Ankers 4 mit weiteren Metallisierungen 12a, 12b und 12c verbunden. Damit trägt der Biegebalken 5 insgesamt 3 Schaltfinger, wobei der mittlere Schaltfinger mit der Metallisierung 6b zur Signalleitung verwendet wird, während die beiden anderen Schaltfinger mit den Metallisierungen 6a und 6c zur Abschirmung auf Masse gelegt sind.

10

15

30

ANSUNCIO ANO MILLIONE

Wird der Biegebalken 5 nun durchgebogen, indem an die Steuerelektrode 9 eine entsprechende Spannung angelegt wird, so werden die Kontaktelemente 6a, 6b und 6c mit den entsprechenden Kontaktelementen 7a, 7b und 7c auf dem Diamantsubstrat 3 verbunden. Folglich wird ein elektrischer Kontakt zwischen den Metallisierungen 12a, 12b und 12c mit den Metallisierungen 10a, 10b bzw. 10c hergestellt. Damit ist nicht nur das Signal, sondern auch die entsprechende Massenabschirmung durchgeschaltet.

Figur 4B zeigt einen Querschnitt durch jeden der einzelnen Schaltfinger, wobei zu beachten ist, daß sämtliche Schaltfinger auf demselben Biegebalken 5 angeordnet sind. Die Indizes a, b und c wurden hier weggelassen, da jeder dieser Schaltfinger gleich aufgebaut ist.

Figur 5 zeigt einen weiteren erfindungsgemäßen
Schaltkontakt, der ebenfalls drei Finger aufweist,
wobei jedoch nur der mittlere Signalkontakt geschaltet wird. In Figur 5 sind ebenfalls, wie in Figur 4,
entsprechende Elemente mit entsprechenden Bezugszeichen wie in Figur 1 versehen, so daß auf ihre Beschreibung verzichtet wird.

Figur 5B zeigt einen Querschnitt durch einen masseführenden Schaltkontakt, bei dem auf dem gemeinsamen Biegebalken 5 eine Metallisierung 14 aufgebracht ist. Weiterhin ist zwischen der isolierenden Diamantschicht 3 und dem Anker 4 eine Metallisierung 13 angeordnet, die sich über die gesamte Länge des Schaltfingers erstreckt und als Masseabschirmung beide Seiten des Schaltkontaktes miteinander verbindet. Die Metallisierung 14 auf dem Biegebalken 5 dient als Steuerelektrode. Sowohl die Metallisierung 13 als auch die Metallisierung 14 können beispielsweise aus W:Si, W:Si:N, Ti, Au, eventuell auch mit darunter liegender P\*-Diamantschicht bestehen. Der Biegebalken 5 ist in diesem Beispiel semi-isolierend ausgeführt.

1.0

15

5

In Figur 5C ist der mittlere Schaltfinger dargestellt, der als Signalleitung fungiert. Dieser Schaltkontakt ist in gleicher Weise ausgeführt wie der Schaltkontakt, der in Figur 4B dargestellt ist, und wird an dieser Stelle daher nicht weiter beschrieben.

20

25

30

In Figur 5A ist eine Aufsicht auf den gesamten Schaltkontakt dargestellt, wobei hier zu erkennen ist, daß lediglich der mittlere Schaltfinger bei einer Durchbiegung des Biegebalkens 5 einen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Kontaktelementen 7 und 8 herstellt. Der Balken 5 wird dabei elektrostatisch durch Anlegen einer Spannung zwischen dem Balkenkontakt 14 und der Substratmassefläche 13 ausgelenkt. Dadurch wird der Diamantkontakt über die Kontaktelemente 7, 8 geschlossen und es kann ein Signalstrom über die Metallisierung 12, 6, über die Kontaktelemente 8, 7 und die Metallisierung 10 fließen. Die Balkenmetallisierungen 14 für die Steuerspannung sind von der darunter und daneben liegenden Substratmassemetallisierung 13 über den isolierenden Anker 4

WO 00/44012 PCT/EP00/00552

elektrisch getrennt. Die beiden Signalmetallisierungen 6 sind mit der Substratsignalmetallisierug 12 verbunden, wobei die beiden Metallisierungen 12 und 13 sowie die beiden Metallisierungen 10 und 13 jeweils räumlich und damit auch elektrisch voneinander getrennt sind.

Insgesamt ergibt sich folglich, daß mit dem erfindungsgemäßen Mikroschaltkontakt es möglich wird, sehr hohe Ströme bei sehr hohen Temperaturen zu schalten. Dabei wird insbesondere ausgenutzt, daß Diamant, abhängig von seiner Dotierung, sehr variable elektrische Eigenschaften besitzt und als multifunktionelles Material eingesetzt werden kann. Diamant besitzt eine hohe Wärmeleitfähigkeit sowie eine hohe Hitzebeständigkeit. Der erfindungsgemäße Mikroschalter ist chemisch inert, weist eine hohe Lebensdauer, hohe Schlagfestigkeit, hohe Schaltdynamik sowie eine minimale Materialkomplexität auf und ist mikrowellentauglich.

PCT/EP00/00552 WO 00/44012 16.

3. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die hochtemperaturstabile Metallisierung W:Si und/oder Ta:Si enthält.

5

10

15

20

4. Mikroschaltkontakt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Bodenplatte, wobei auf der Oberseite der Bodenplatte das erste Kontaktelement derart angeordnet ist, daß seine Kontaktfläche der Bodenplatte gegenüber liegt, einen Anker, der auf der Oberseite der Boden-

platte in einem vorbestimmten Abstand zu dem ersten Kontaktelement angeordnet ist,

sowie einen Biegebalken, der auf der der Bodenplatte abgewandten Seite des Ankers befestigt ist und von diesem in einem vorbestimmten Abstand zur Bodenplatte gehalten wird, wobei der Biegebalken sich freitragend von dem Anker bis mindestens über das erste Kontaktelement erstreckt und

wobei das zweite Kontaktelement auf der dem ersten Kontaktelement zugewandten Seite des Biegebalkens angeordnet ist, derart, daß die Kontaktfläche des zweiten Kontaktelementes der Kontaktfläche des ersten Kontaktelementes gegenüber liegt.

#### Patentansprüche

5

10

15

20

1. Mechanisch schließender, elektrischer Mikroschaltkontakt mit einem ersten und einem zweiten elektrisch leitenden Kontaktelement mit einer ersten bzw. einer zweiten elektrisch leitenden Kontaktfläche, wobei die beiden Kontaktelemente im offenen Zustand des Mikroschaltkontakts einen vorbestimmten Abstand voneinander aufweisen und im geschlossenen Zustand einander in einem Kontaktbereich im Bereich der ersten und zweiten Kontaktflächen berühren, dad urch gekennzeichnet,

dadurch gekennzeichnet, daß

die erste Kontaktfläche und/oder die zweite Kontaktfläche zumindest teilweise aus hochdotiertem, leitfähigem Diamant, Siliziumcarbid (SiC), Galiumnitrid (GaN), Bornitrid (BN), Aluminium-Galiumnitrid (AlGaN) und/oder Aluminiumnitrid (AlN) besteht.

25

30

Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß eine der beiden Kontaktflächen zumindest teilweise aus Metall, einem karbidbildenden Metall und/oder einer hochtemperaturstabilen Metallisierung besteht.

- 5. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte zumindest teilweise aus einer elektrisch isolierenden Diamantschicht, SiC, GaN, AlGaN, BN und/oder AlN besteht.
- 6. Mikroschaltkontakt nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker zumindest teilweise aus elektrisch isolierendem Diamant, SiC, GaN, AlGaN, BN und/oder AlN besteht derart, daß er die Bodenplatte und den Biegebalken voneinander elektrisch isoliert.
- 7. Mikroschaltkontakt nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Biegebalken zumindest teilweise aus elektrisch leitend dotiertem Diamant, SiC, GaN, AlGaN, BN und/oder AlN besteht.

25

30

- 8. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Biegebalken in Richtung senkrecht zur Oberfläche der Bodenplatte eine Dicke zwischen 0,5 und 10 µm aufweist.
- 9. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet; daß die Bodenplatte auf einem Substrat als Träger angeordnet ist.

10

15

20

- 10. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat
  zumindest teilweise aus Silizium besteht.
- 11. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat zumindest teilweise aus (100)-orientiertem Silizium besteht.
- 12. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß er elektrostatisch, induktiv, mechanisch und/oder thermodynamisch schaltbar ist.
- 13. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Bodenplatte zwischen der Bodenplatte und dem Biegebalken eine Steuerelektrode angeordnet ist.
- 14. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerelektrode zumindest teilweise aus elektrisch leitend dotiertem Diamant besteht.
- 15. Mikroschaltkontakt nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerelektrode elektrische Außenkontakte

10

15

20

25

zur Spannungsversorgung der Steuerelektrode aufweist.

- 16. Mikroschaltkontakt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an dem ersten und/oder zweiten Kontaktelement außerhalb des Kontaktbereichs elektrische Außenkontakte zur Spannungs- und Stromversorgung des Kontaktelementes angeordnet sind.
- 17. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und/oder zweite Kontaktelement außerhalb des Kontaktbereichs mit Oberflächenmetallisierungen zur Bildung der elektrischen Außenkontakte versehen sind.
  - 18. Mikroschaltkontakt nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerelektrode mit Oberflächenmetallisierungen zur Bildung der elektrischen Außenkontakte versehen ist.
  - 19. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Biegebalkens zumindest teilweise Oberflächenmetallisierungen aufweist.
  - 20. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die dem An-

WO 00/44012 2 0

ker entgegengesetzte Oberfläche des Biegebalkens zumindest teilweise Oberflächenmetallisierungen aufweist.

PCT/EP00/00552

- 5 21. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenmetallisierung ein Edelmetall, ein Nichtedelmetall oder eine Metalllegierung aufweist.
- 10 22. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenmetallisierung durch Aufdampfen, Zerstäuber oder galvanische Abscheidung auf die Kontaktelemente, den Biegebalken und/oder die Steuerelektrode aufgebracht ist.

20

25

30

23. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4
bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte und ggf. der Träger im Bereich des ersten
Kontaktelementes und gegebenenfalls im Bereich
der Steuerelektrode auf der von diesen abgewandten Seite Öffnungen aufweisen, über die das erste Kontaktelement und gegebenenfalls die Steuerelektrode elektrisch kontaktierbar sind.

24. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Träger und der Bodenplatte eine Zwischenschicht aus Silizium(di)oxid (SiO<sub>x</sub>), Siliziumnitrid, Metall, einer Legierung und/oder einem Dielektri-

kum angeordnet ist.

5

. 10

15

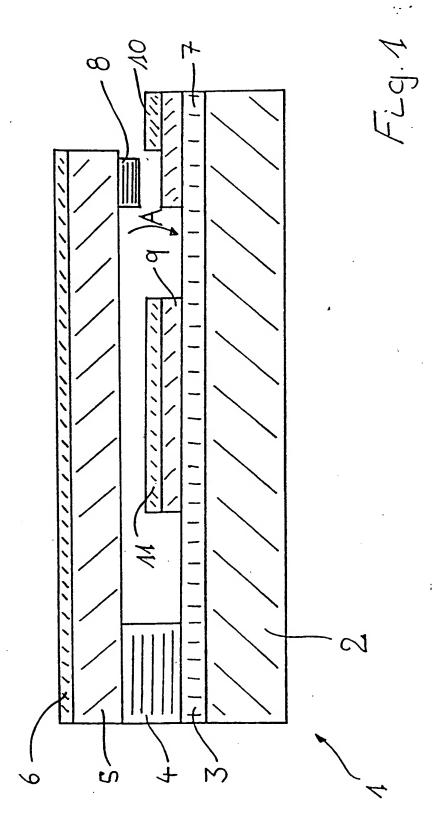
20

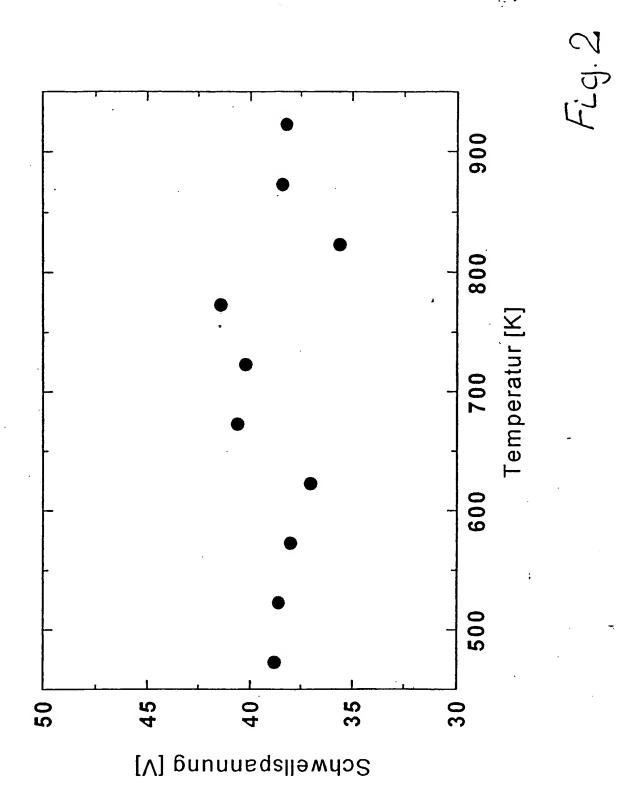
25

- 25. Mikroschaltkontakt nach einem der Ansprüche 4 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte, der Anker und/oder der Biegebalken durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD-Verfahren) von Diamant hergestellt ist.
- 26. Mikroschaltkontakt nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der Diamant durch Plasma-CVD, Arc-Jet-CVD, und/bder Hot-Filament-CVD abgeschieden ist.
- 27. Mikroschaltkontakt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrisch leitfähigen Diamantschichten der Kontaktelemente, des Biegebalkens und/oder der Steuerelektrode zumindest teilweise aus Diamantschichten bestehen, der mit Bor, Stickstoff, Schwefel und/oder Phosphor dotiert sind.
  - 28. Verfahren zur Herstellung eines Mikroschaltkontaktes nach einem der Ansprüche 4 bis 27,
    d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
    d a ß
    auf einem Träger eine Bodenplatte, ein Anker und
    das erste Kontaktelement aufgebracht,
    auf die Bodenplatte bis zur Höhe des Ankers eine
    Opferschicht aufgebracht,
    auf den Anker und die Opferschicht der Biegebal-

ken und das mit dem Biegebalken verbundene zweite Kontaktelement aufgebracht wird, und abschließend die Opferschicht entfernt wird.

- 5 29. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß eine Opferschicht aus Metall, einem Dielektrikum, Siliziumdioxid,  $SiO_x$ ,  $Si_3N_4$  und/oder  $SiO_xN_y$  aufgebracht wird.
- 30. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Opferschicht durch Ätzen entfernt wird.





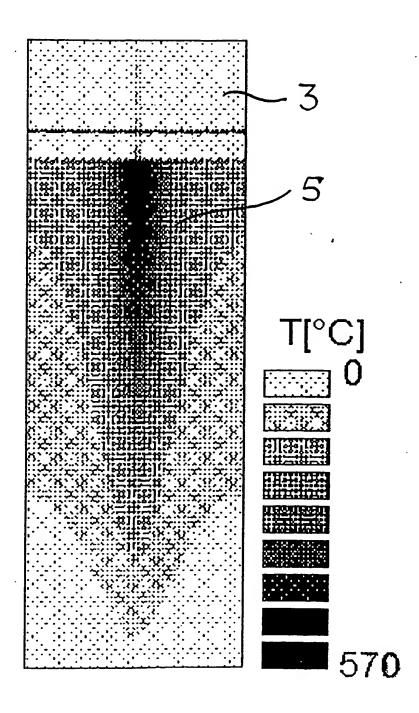
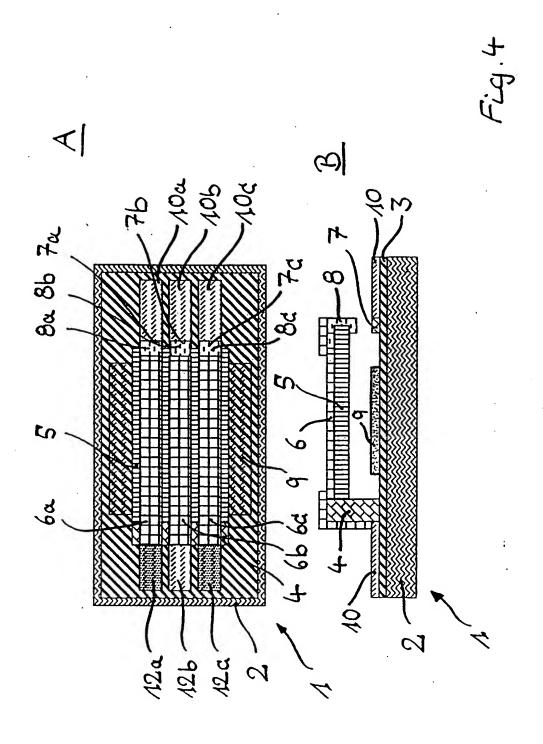
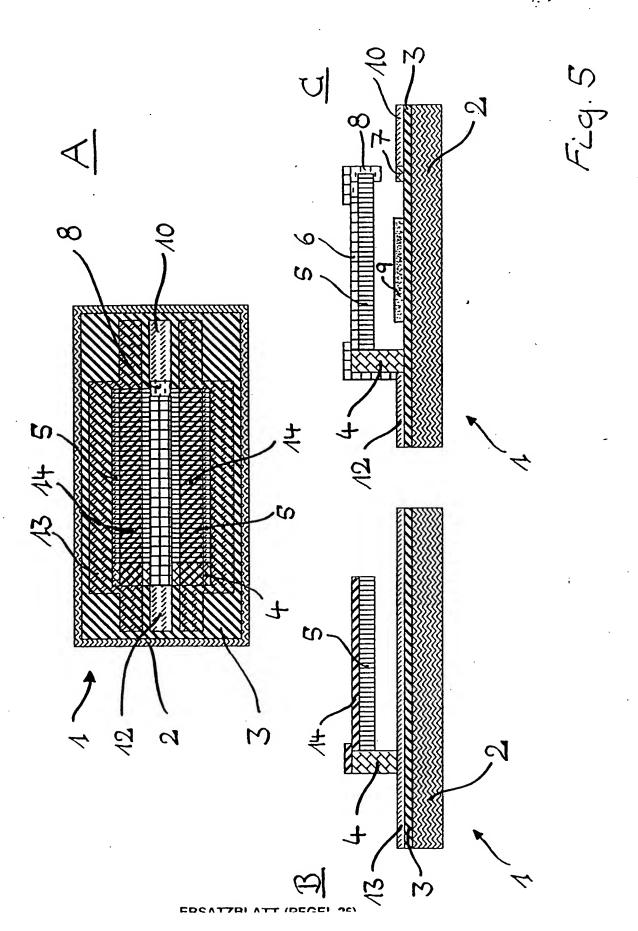


Fig. 3





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

imormation on patent family members

Interna II Application No PCT/EP 00/00552

Patent document cited in search report			Publication date	Patent family member(s)		Publication
						date
US 49	54170	Α	04-09-1990	AU	623528 B	14-05-199
				AU	5691290 A	03-01-199
				CA	2017867 A	31-12-199
				CN	1048412 A.B	09-01-199
				DE	4019441 A	03-01-199
				FR	2649026 A	04-01-199
				GB	2233670 A,B	16-01-1991
				IT	1248996 B	11-02-1995
				JP	3 <b>044</b> 403 A	26-02-1991
				MX	164483 B	19-08-1992
				NZ	234182 A	26-05-1992
				PH -	26485 A	27-07-1992
				ZA	9004460 A	24-04-1991
EP 05	18532	Α	16-12-1992	AU	1718092 A	11-03-1993
				JP	6144993 A	24-05-1994
	<del></del>			ZA	9203839 A	27-01-1993
US 54	13668	A	09-05-1995	DE	4435413 A	27-04-1995
				JP	7188926 A	25 <del>-</del> 07-1995
EP 073	32635	A	18-09-1996	FR	2731715 A	20-09-1996

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interns at Application No PCT/FP 00/00552

A 62 456	700470405		01721 01	07 00552					
ÎPC 7	SEPICATION OF SUBJECT MATTER H01H1/00 H01H1/04			•					
According	to international Patent Classification (IPC) or to both national class	ification and IPC							
B. FIELDS SEARCHED									
Minimum d	ocumentation searched (classification system followed by classific HO1H	cation symbols)							
Documents	tion searched other than minimum documentation to the extent the	at such documents are include	d in the fields a	earched					
Electronic o	data base consulted during the international search (name of data	base and, where practical, so	arch terms used	1) •					
	•		•						
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT									
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the	relevant passages		Relevant to claim No.					
X	US 4 954 170 A (FEY MAURICE G ( 4 September 1990 (1990-09-04)	ET AL)	,	1-3					
A	abstract ——		4-30						
X	EP 0 518 532 A (DE BEERS IND DIA 16 December 1992 (1992-12-16)	1-3							
A	the whole document		4-30						
X	US 5 413 668 A (ASLAM MOHAMMAD 9 May 1995 (1995-05-09)		1-3						
A	abstract			4-30					
X	EP 0 732 635 A (SUISSE ELECTRONI MICROTECH) 18 September 1996 (19	1-3							
A	abstract	4-30							
j									
			- 1	,					
l		·		<u>'</u>					
Further documents are listed in the continuation of box C.    X   Patent family members are listed in annex.									
* Special categories of cited documents :   "T" later document published after the international filing date									
A cocument demand the general state of the art which is not called to understand the principle or theory underlying the									
E" earlier document but published on or after the international filing date "X" document of particular relevance; the claimed invention									
L* document which may throw doubts on priority claim(s) or involve an inventive step when the document is taken alone									
catation or other special reason (as specified)  "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the									
other me	pens published prior to the international filing data but	other such docu- to a person skilled							
tater than the priority date claimed "&" document member of the same patent family									
Date of the actual completion of the international search Date of mailing of the international search report									
5 /	April 2000	18/04/2000							
lame and ma	iling address of the ISA	Authorized officer							
	European Patent Office, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijawijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Maússer, T							